SLC 641 – Óptica

Licenciatura em Ciências Exatas – São Carlos

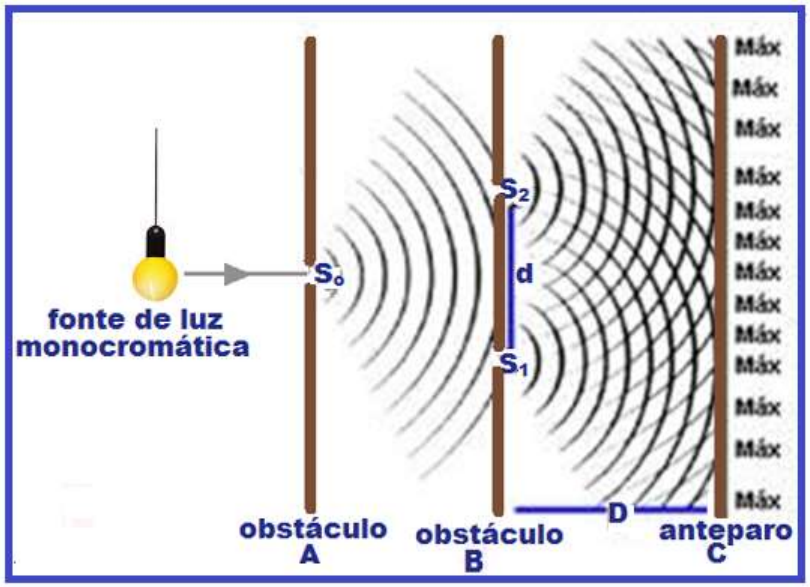
Aula 7

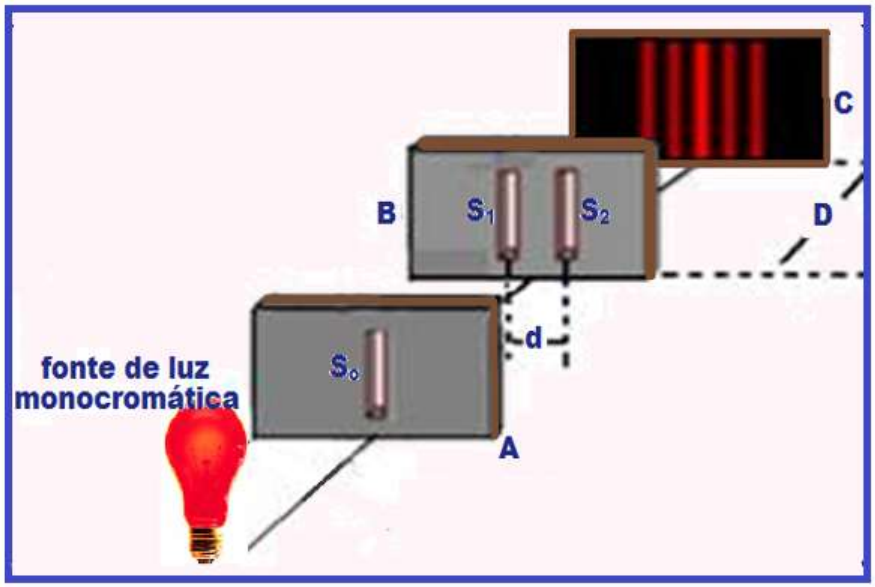
Natureza ondulatória: Difração e interferência
(Interferência e Difração)

14/10/2020

Interferência

Experimento de Young





Interferência construtiva

$$d\,sen\theta = m\lambda$$

Interferência destrutiva

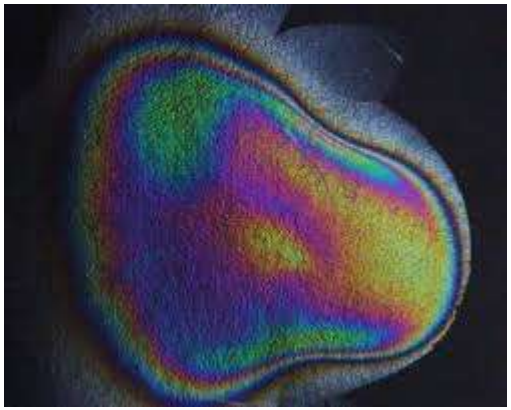
$$d\,sen\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$I = E^2 = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} sen\theta$$

Interferência de filmes finos

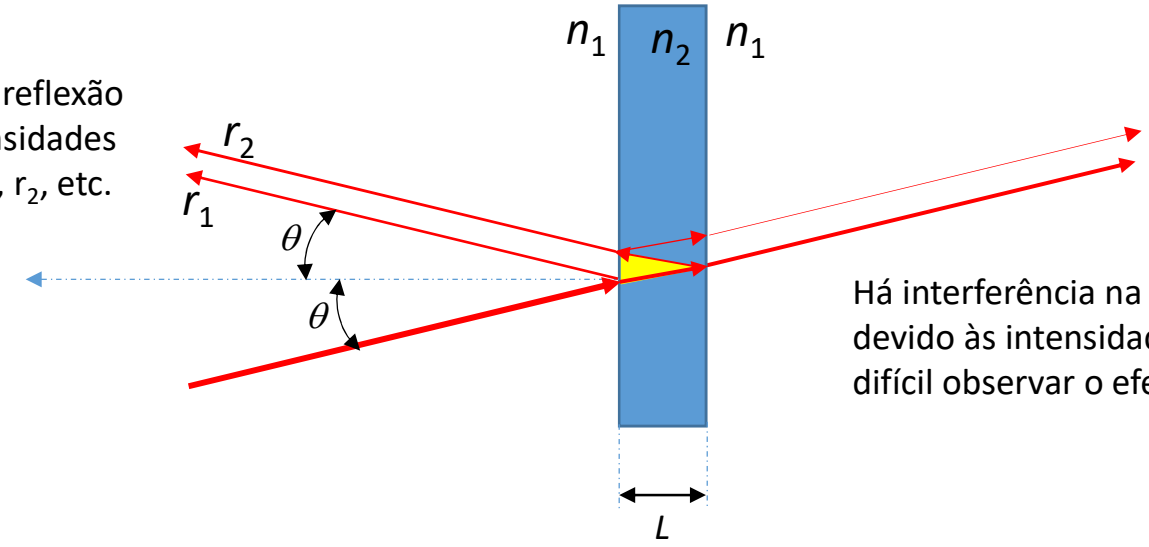
Mancha de óleo



Filme de sabão

Bolha de sabão

Mais visível na reflexão devido às intensidades similares de r_1 , r_2, etc.

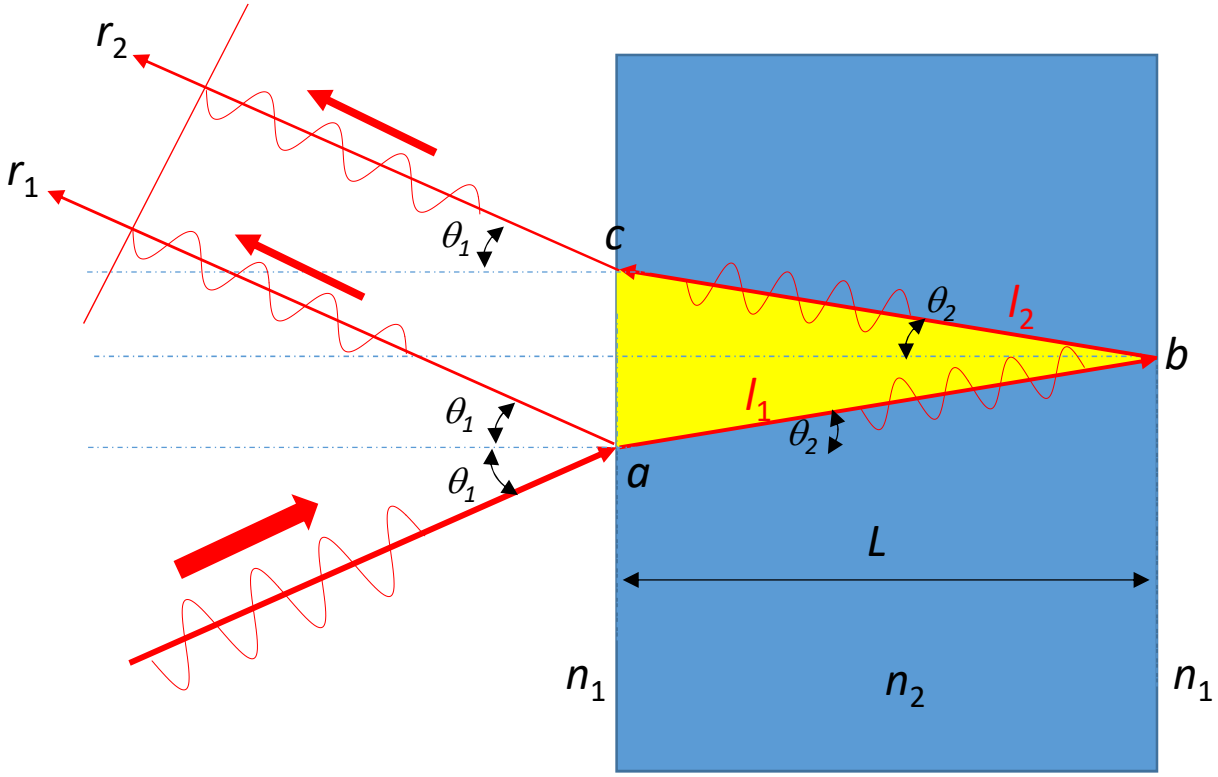


Há interferência na luz transmitida, mas devido às intensidade alta do primeiro feixe, é difícil observar o efeito.

Interferência de filmes finos

Propagação de *a* para *b* e de *b* para *c* tem que chegar com a mesma fase que do ponto *a*

Em fase: Interferência construtiva



Para o caso de uma incidência na normal:
$\theta_1 = \theta_2 = 0$

$$l_1 = l_2 = L$$

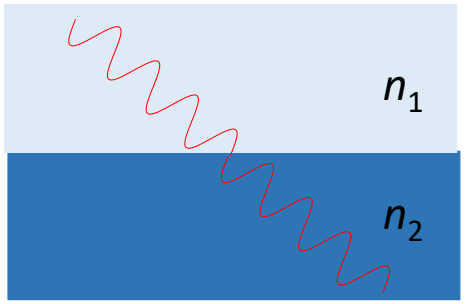
Caminho óptico:

$$n_2 l_1 = n_2 l_2 = n_2 L$$

Interferência de filmes finos

Observação: Pode haver mudança de fase em processos de reflexão!

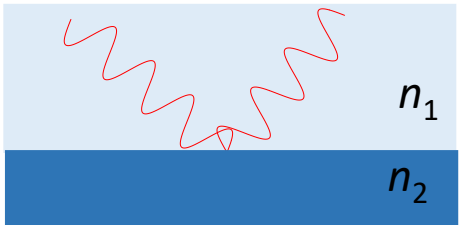
Refração: Nunca muda de fase!



$n_1<n_2$

ou

$n_1>n_2$

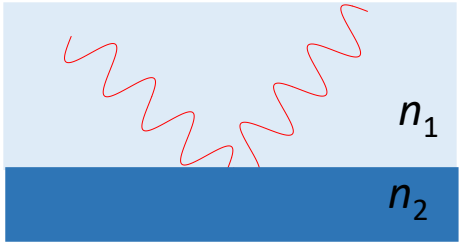


Reflexão de um meio menos refrativo para um mais refrativo: Muda de fase de $180^o=\pi$!

$n_1<n_2$

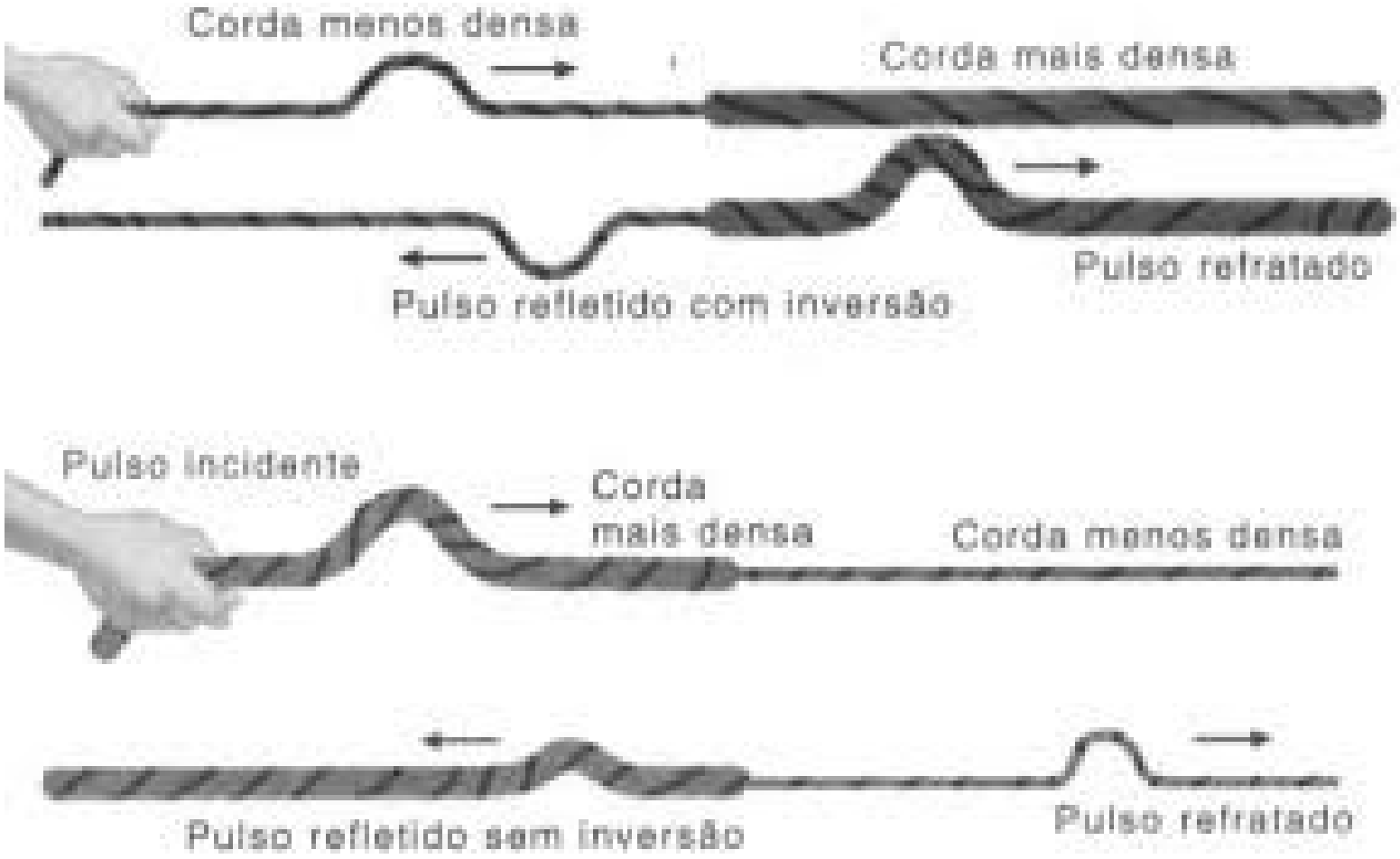
Reflexão de um meio mais refrativo para um menos refrativo: Não muda a fase!

$n_1>n_2$



“Reflexão” e “refração” numa corda

Esse efeito acontece com qualquer onda mecânica!



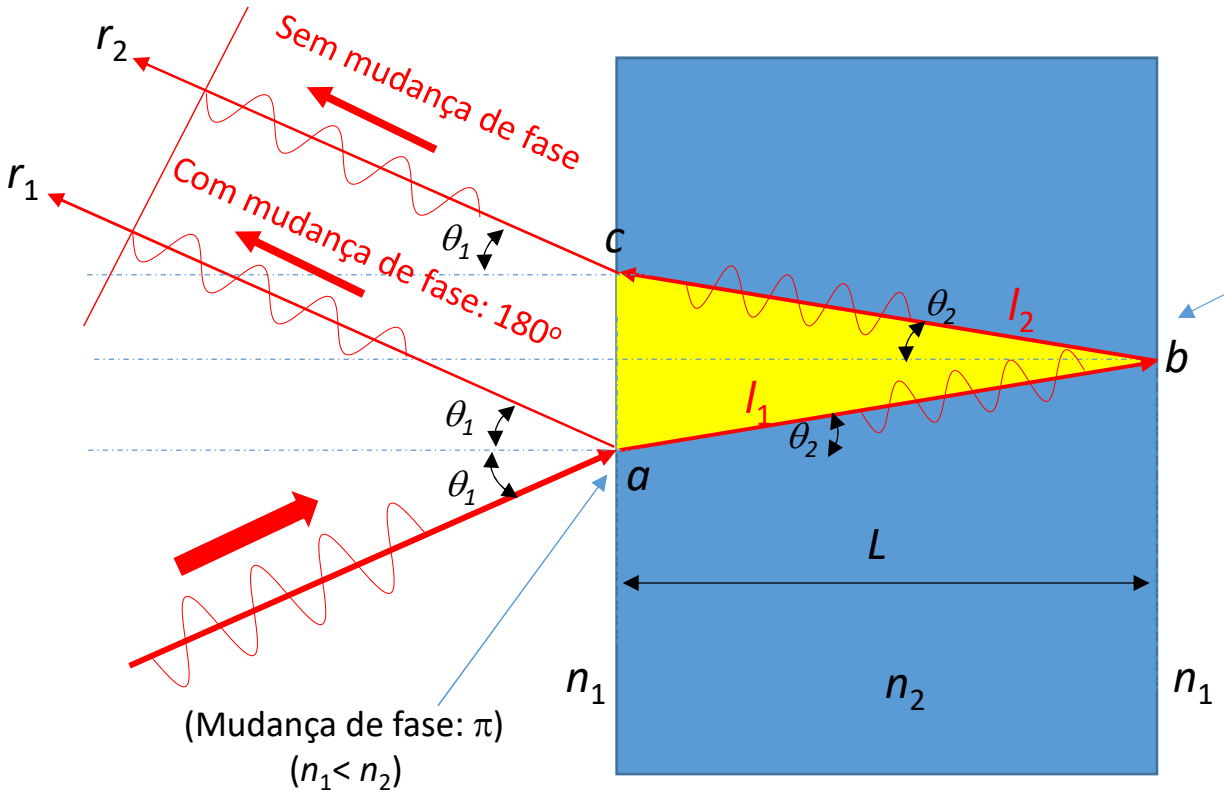
“Reflexão” e uma parede

“Espelho ideal”: Mudança de fase de 180º

Mas pode haver casos que não há mudança de fase de 180º

Interferência de filmes finos

Em fase: Interferência construtiva



(Sem mudança de fase)
(n_2> n_1)

Caminho óptico *abc*:
(sem mudança de fase)

$$2n_2L$$

O caminho óptico tem que ser inteiros de comprimentos de onda:

$$2n_2L = m\lambda$$

Mas tem a mudança de fase (180º) na primeira reflexão em *a:*

$$2n_2L = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

(*m*=0,1,2,3..)
Máximos

Interferência de filmes finos

Máximos

$$2n_2L = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$L = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2n_2}$$

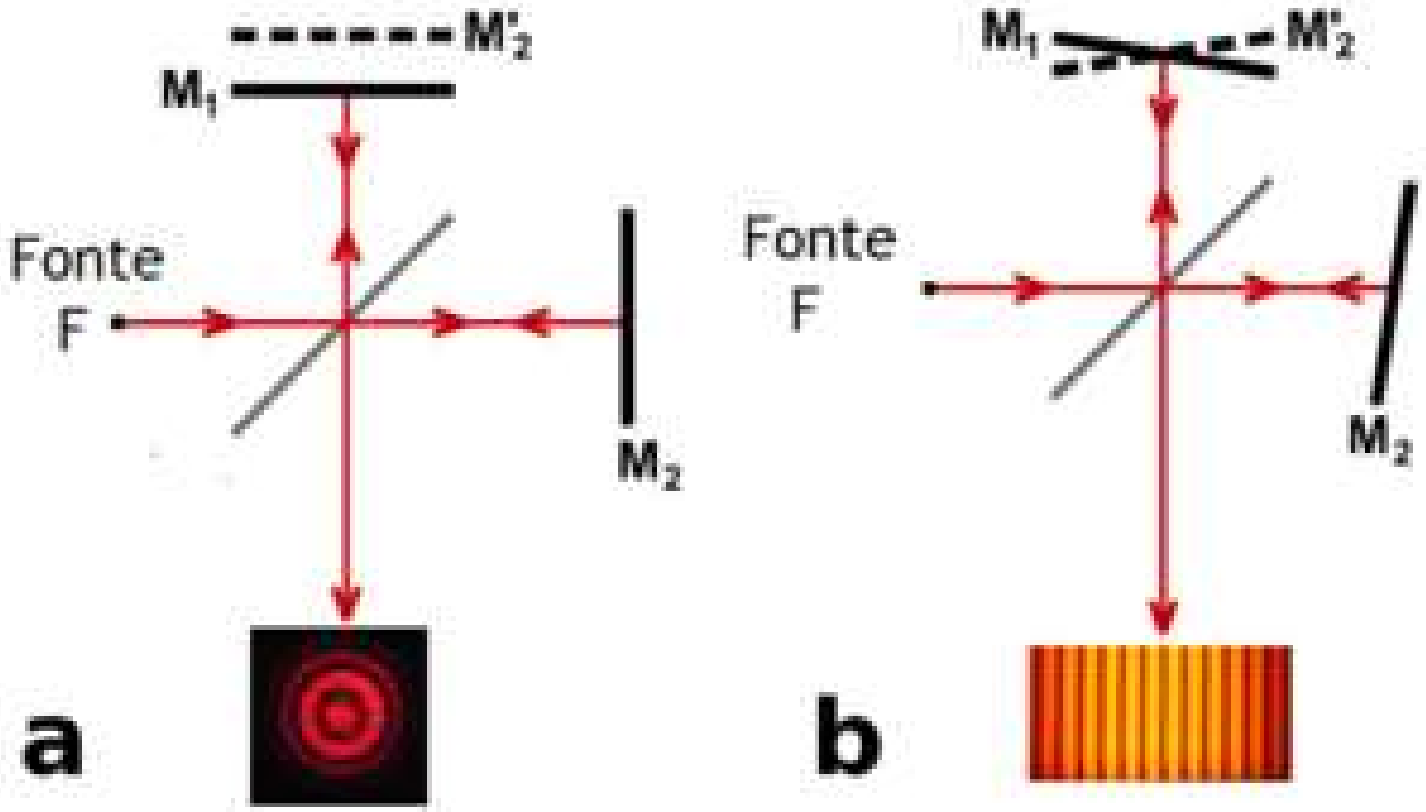
(m=0,1,2,3..)

Mínimos

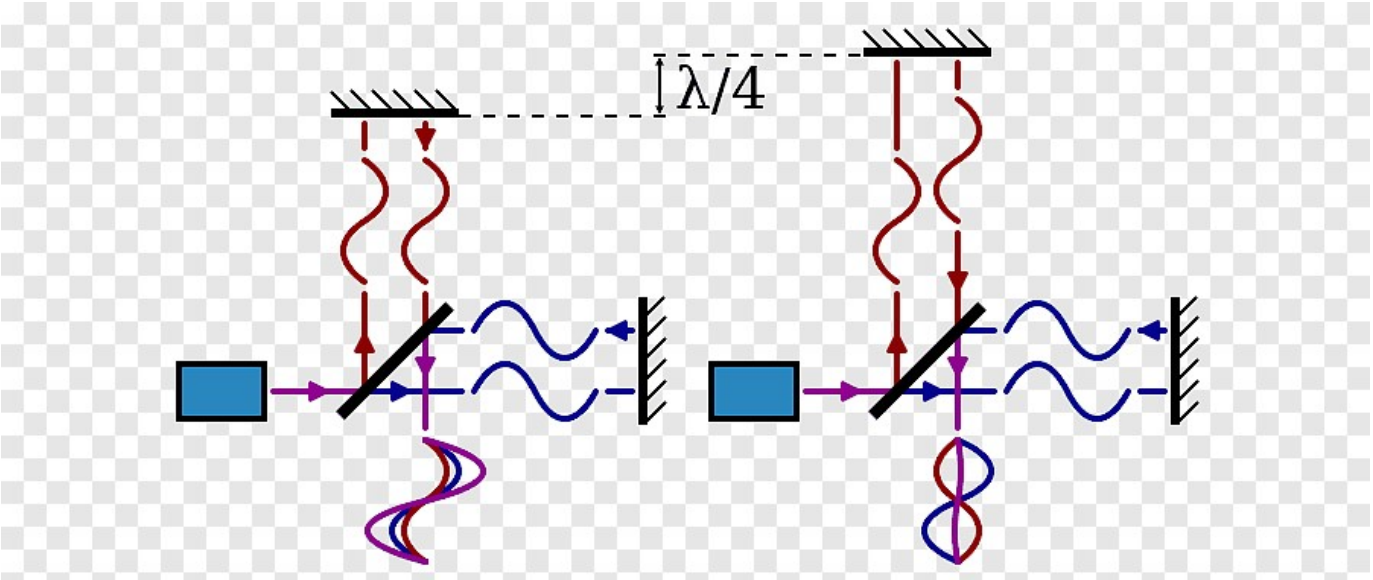
$$2n_2L = m\lambda$$

$$L = \frac{m\lambda}{2n_2}$$

Interferômetro de Michelson



Interferômetro de Michelson



Deslocamento de um dos braços do interferômetro de $\lambda/4$ (caminho óptico de $\lambda/2$: ida e volta) causa uma mudança de fase de π, ou seja, Máximo$\rightarrow$Mínimo, por exemplo

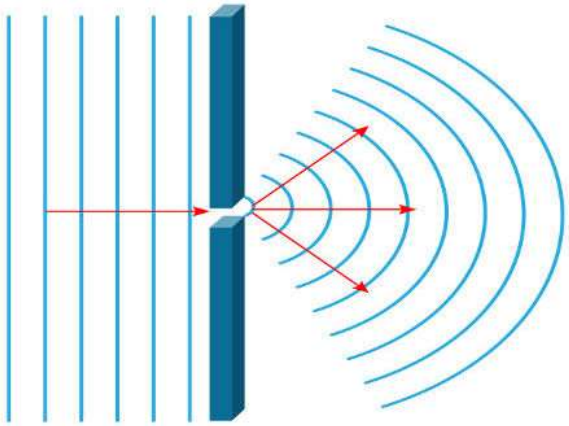
Braço 1 $$N_1 = \frac{2n_1 L_1}{\lambda}$$

Braço 2 $$N_2 = \frac{2n_2 L_2}{\lambda}$$

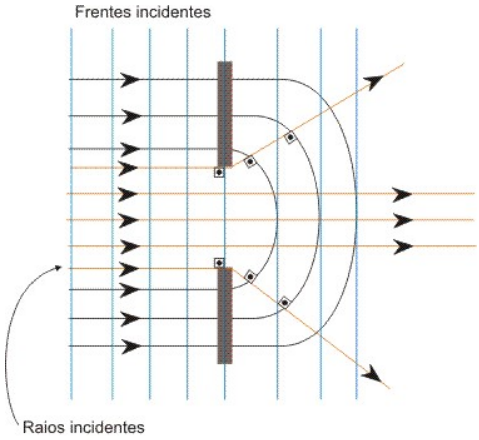
Para deslocar as franjas de interferência, pode-se deslocar ou mudar o índice de refração em dos braços .

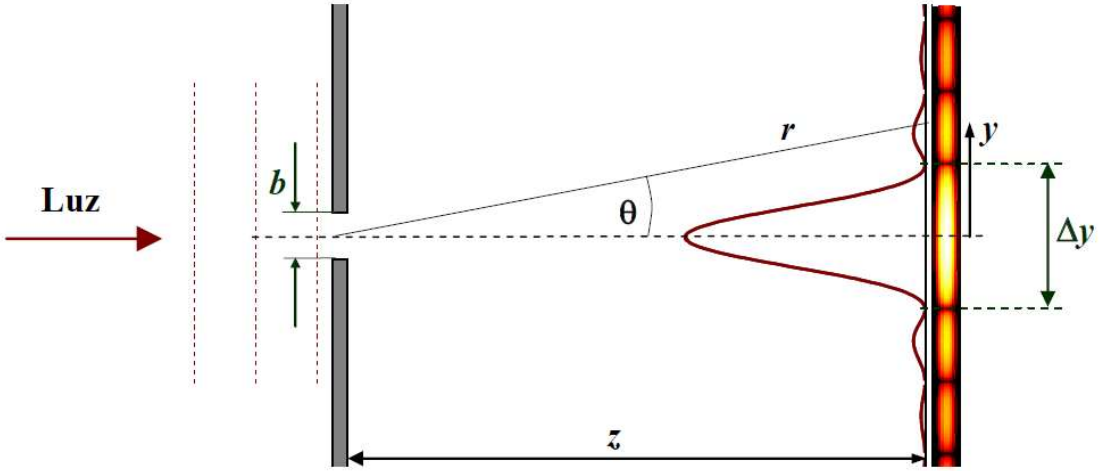
Difração

Fenda pequena

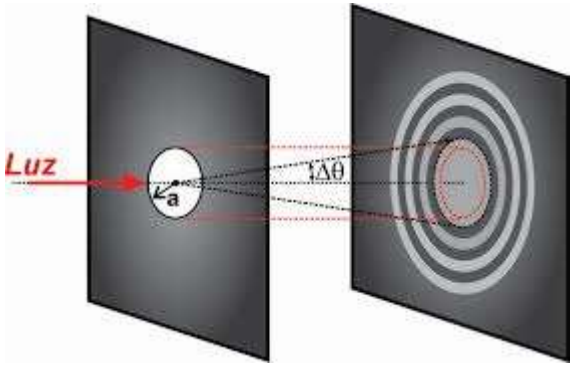


Fenda grande

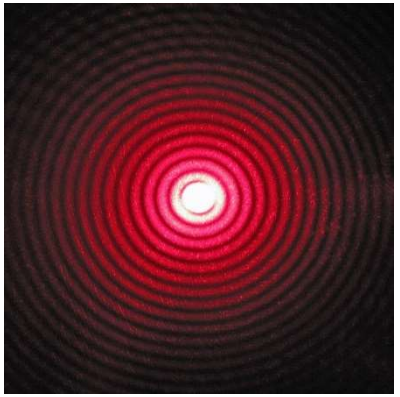




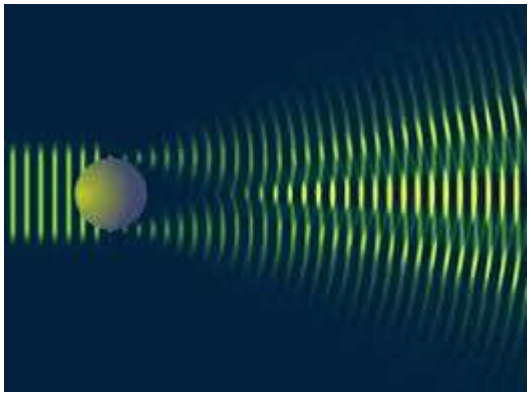
Difração



Furos pequenos



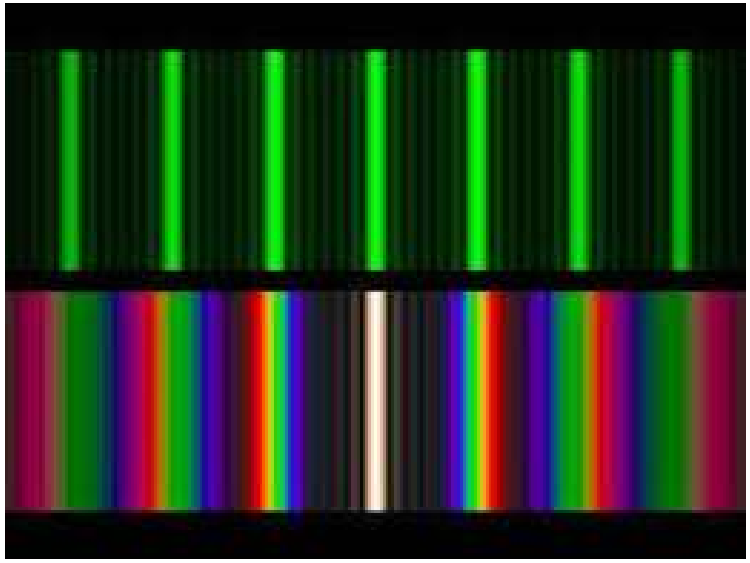
Partículas pequenas



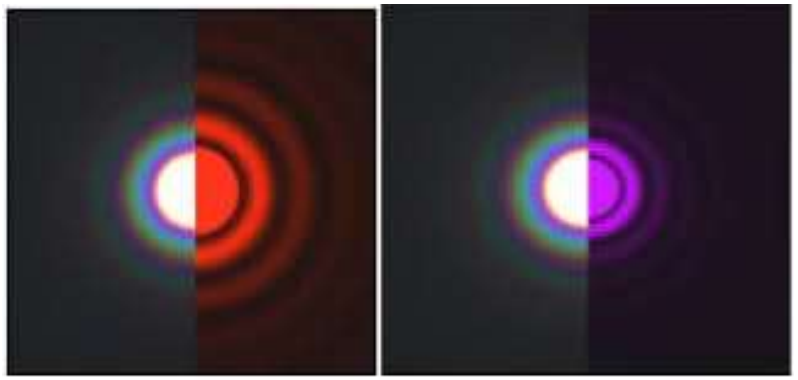
Difração

Para melhor visualização da difração, como na interferência,
é necessário luz monocromáticas
(Ideal é um laser monocromático)

Fendas

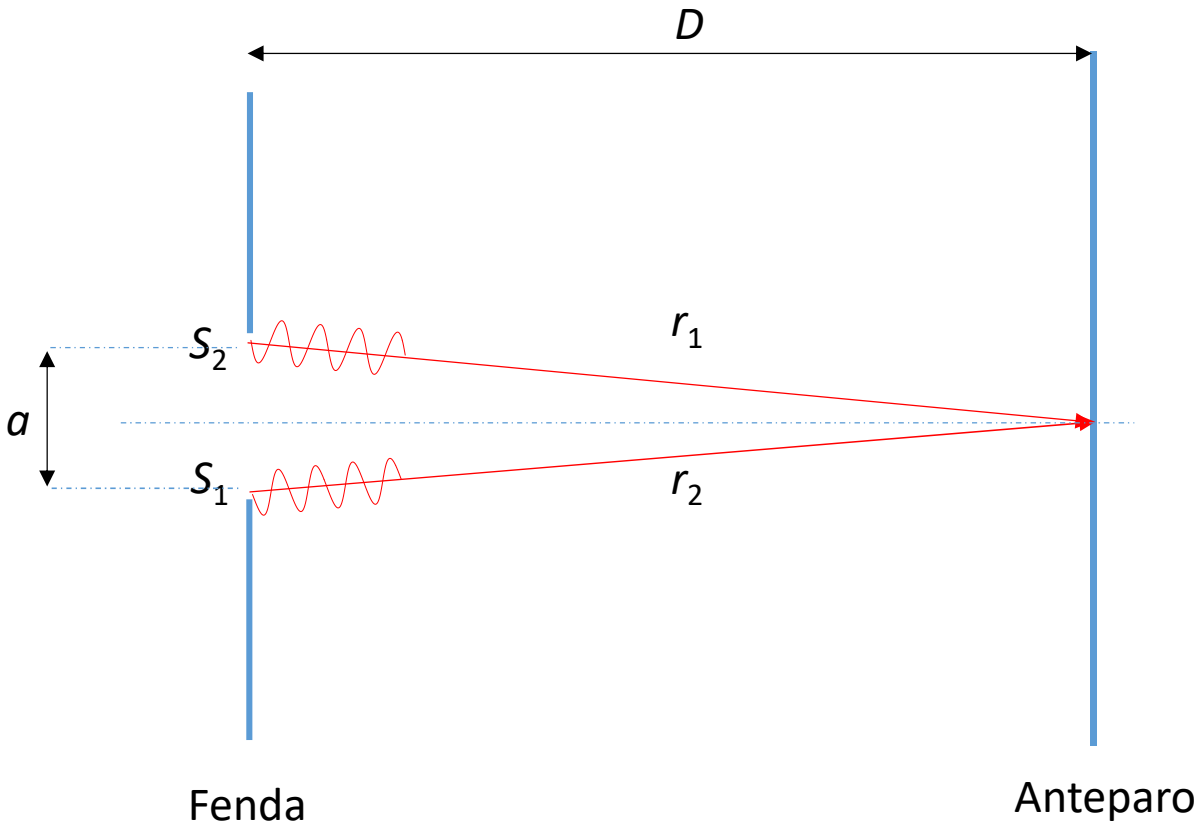


Furos



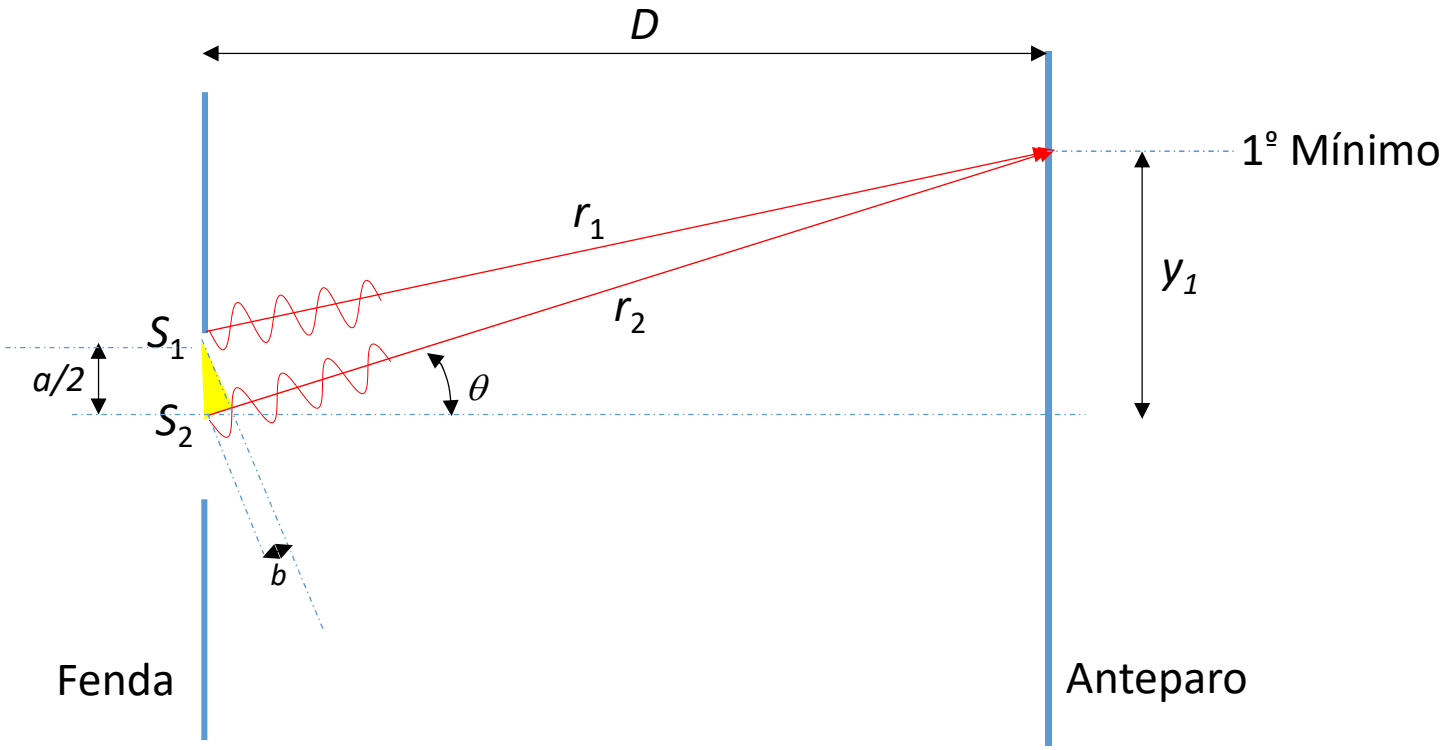
Difração numa fenda

Por simetria, no caso da difração em uma fenda, é possível prever (e observar) que sempre haverá um ponto central sempre com interferência construtiva



Difração numa fenda

Dessa forma, pode-se calcular o primeiro mínimo, subdividindo a fenda em duas partes:

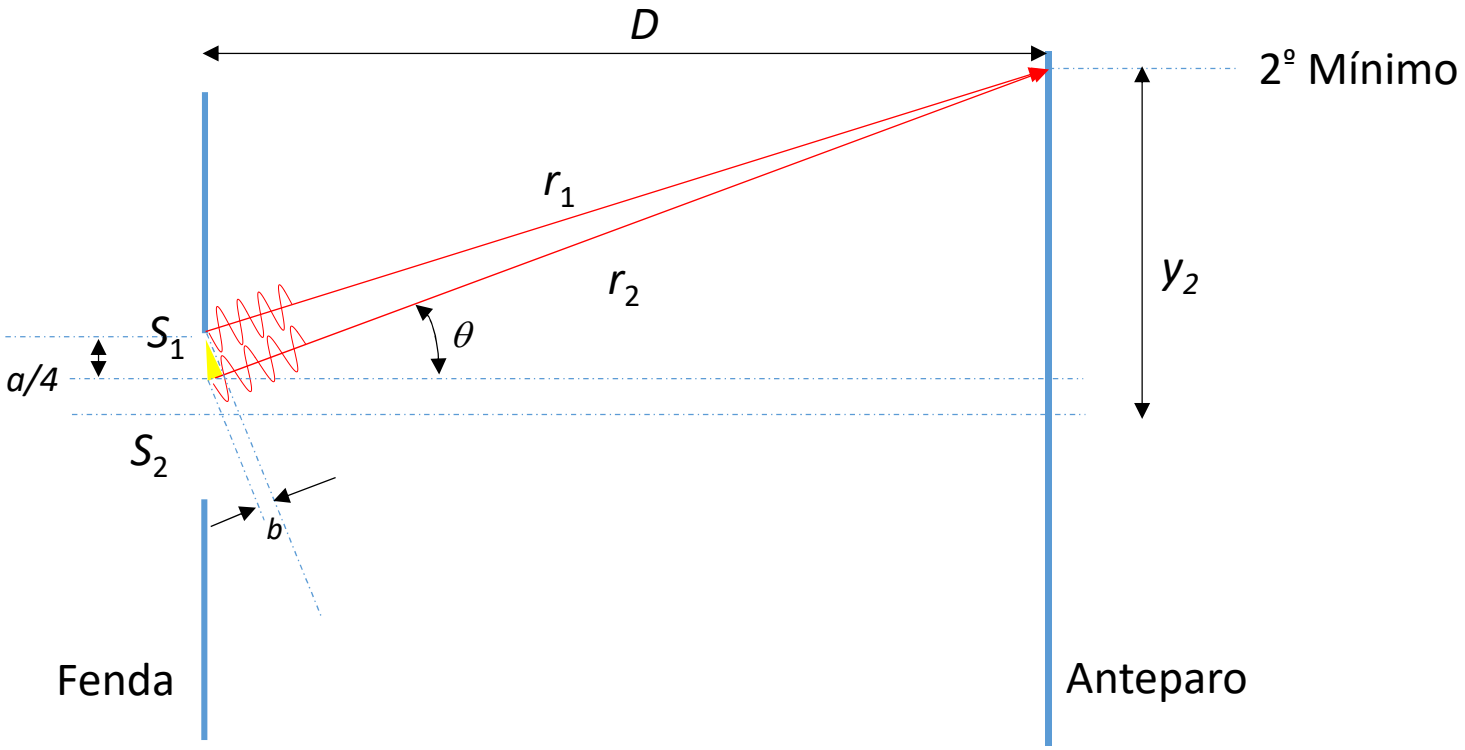


O primeiro mínimo ocorre quando $b=\lambda/2$:

$$sen\theta = \frac{b}{(a/2)} = \frac{2b}{a} = \frac{\lambda}{a} \quad \Rightarrow \quad a\ sen\theta = \lambda$$

Difração numa fenda

Para calcular o segundo mínimo, subdivide-se mais uma vez a fenda em mais duas partes:



O segundo mínimo ocorre quando $b = \lambda/2$: $sen\theta = \frac{b}{(a/4)} = \frac{4b}{a} = \frac{2\lambda}{a}$ ⇒ $a\ sen\theta = 2\lambda$

Difração numa fenda

Subdividindo a fenda em 2 partes: Primeiro mínimo → $a\ sen\theta = \lambda$

Subdividindo a fenda em 4 partes: Segundo mínimo → $a\ sen\theta = 2\lambda$

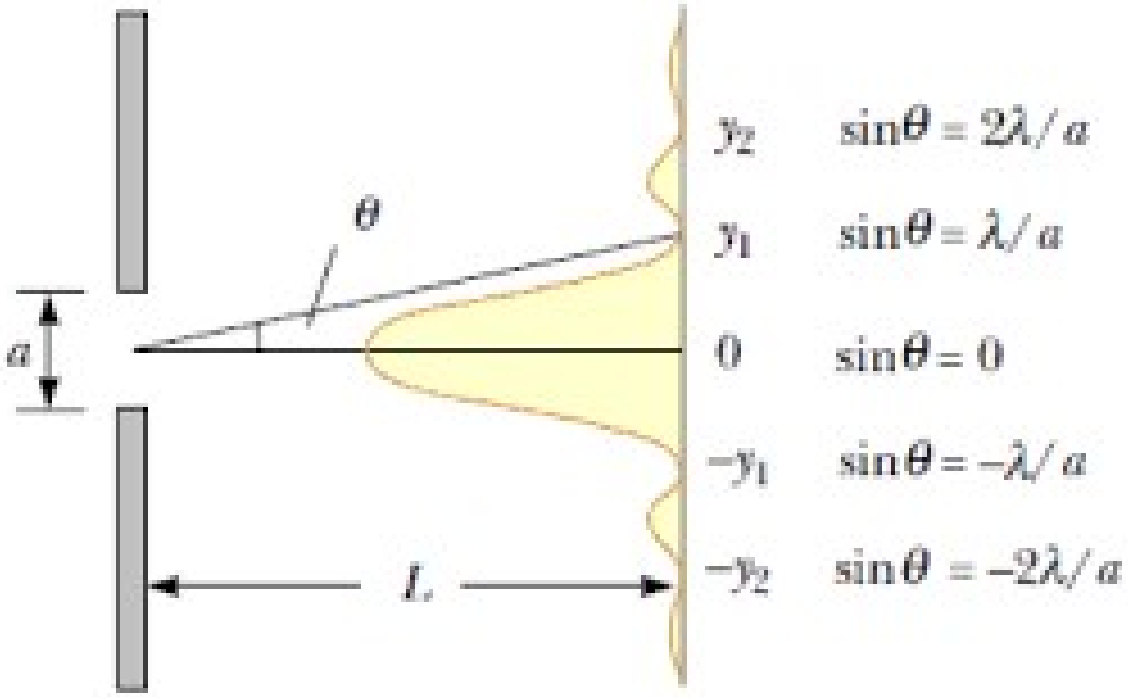
Subdividindo a fenda em 6 partes: Terceiro mínimo → $a\ sen\theta = 3\lambda$

Assim por diante

Subdividindo a fenda em 2*m* partes: *m* mínimo → $a\ sen\theta = m\lambda$ (*m*=1,2,3..)

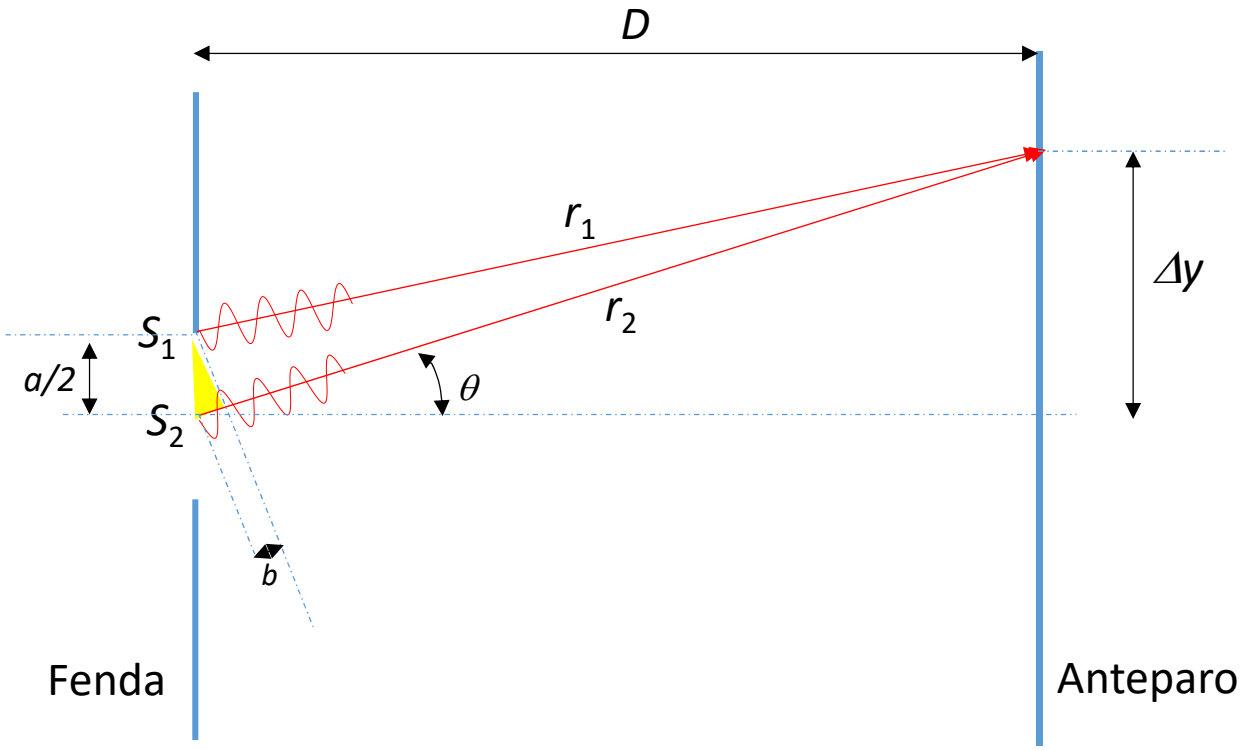
Segundo o principio de Huygens, 2*m* está relacionado ao número de fontes e deve ser muito grande!

Difração numa fenda



Difração numa fenda

Em termos de fase $\Delta\phi$, para qualquer ângulo θ:



$$sen\theta = \frac{b}{(a/2)} = \frac{2b}{a}$$

$$\Delta\phi = \frac{b}{\lambda} 2\pi$$

$$\Rightarrow \begin{cases} b = \dfrac{\lambda\Delta\phi}{2\pi} \\ sen\theta = \dfrac{2}{a}\left(\dfrac{\lambda\Delta\phi}{2\pi}\right) \end{cases}$$

$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\frac{a}{2} sen\theta = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right) sen\theta$$

Difração numa fenda

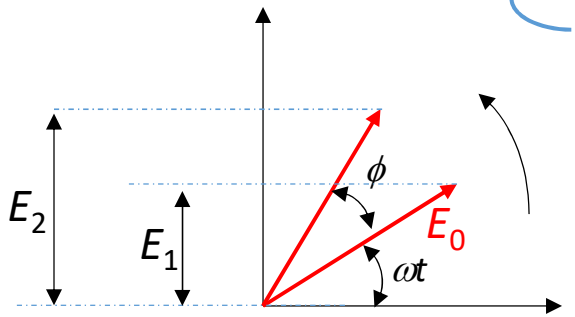
Vamos usar o modelos de Fasor (método geométrico) para determinar o padrão de difração (cálculo quantintativo)

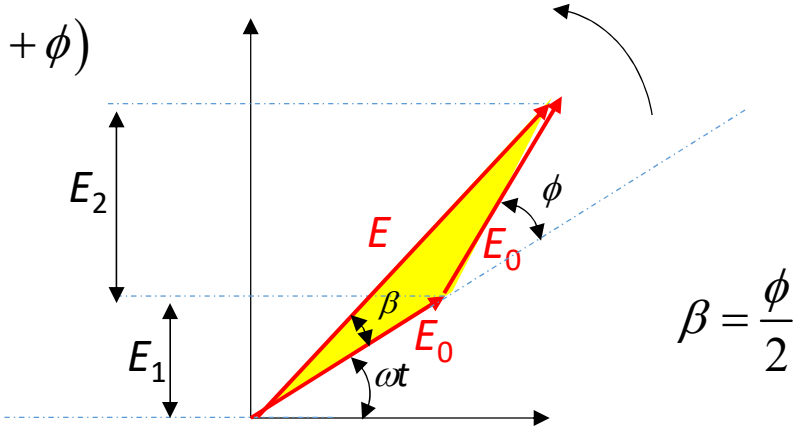
Apenas duas fontes:

$$E = E_1[S_1] + E_2[S_2]$$

$$E_1 = E_0 sen\ \omega t$$

$$E_2 = E_0 sen\ (\omega t + \phi)$$





$$\beta = \frac{\phi}{2}$$

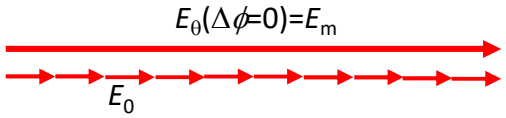
$$\cos\beta = \frac{E/2}{E_0} \Rightarrow E = 2(E_0 \cos\beta)$$

$$E = 2\left(E_0 \cos\frac{\phi}{2}\right) \Rightarrow \boxed{I = 4I_0 \cos^2\frac{\phi}{2}}$$

Difração numa fenda

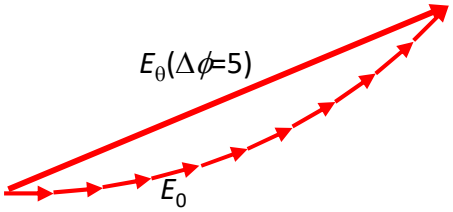
Vamos usar o modelos de Fasor (método geométrico) para determinar o padrão de difração (cálculo quantintativo)

No caso de *m* fontes: Ex: *m*=10

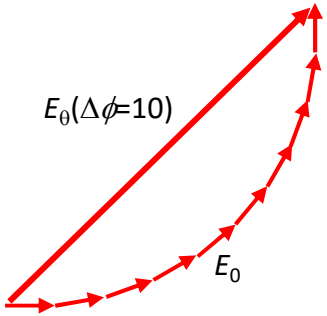


Máximo central, θ=0

Direção θ um pouco fora da central

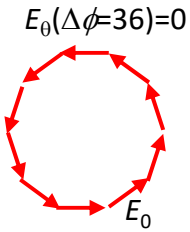


Direção θ um mais fora da central

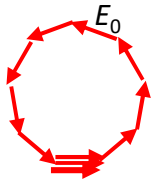


$$\phi = m\Delta\phi$$

Primeiro mínimo



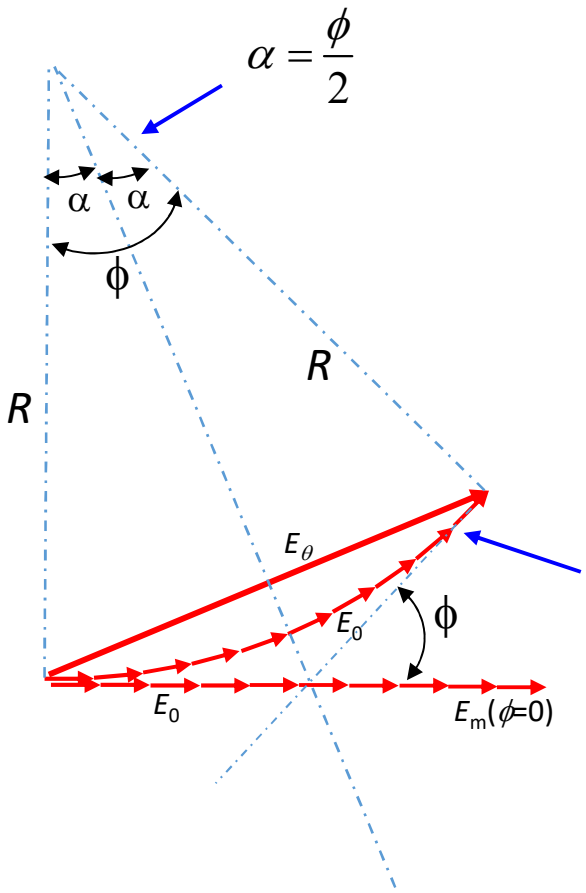
Direção um pouco depois do mínimo



$E_\theta(\Delta\phi=40)=E_0$

Difração numa fenda

Vamos usar o modelos de Fasor (método geométrico) para determinar o padrão de difração (cálculo quantintativo)



$$\alpha = \frac{\phi}{2}$$

$$sen\alpha = \frac{E_\theta / 2}{R} = \frac{E_\theta}{2R} = sen\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$E_\theta = 2Rsen\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$\text{Comprimento do arco} = \phi R = E_m \quad \Rightarrow \quad R = \frac{E_m}{\phi}$$

$$E_\theta = \frac{2E_m}{\phi} sen\left(\frac{\phi}{2}\right) = \frac{E_m}{(\phi/2)} sen\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

Difração numa fenda

Vamos usar o modelos de Fasor (método geométrico) para determinar o padrão de difração (cálculo quantintativo)

$$E_\theta = \frac{2E_m}{\phi} sen\left(\frac{\phi}{2}\right) = \frac{E_m}{(\phi/2)} sen\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

Intensidade é o campo ao quadrado:

$$(E_\theta)^2 = \frac{(E_m)^2}{(\phi/2)^2} sen^2\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$I = I_m \frac{sen^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}{\left(\frac{\phi}{2}\right)^2}$$

$$I = I_m \left(\frac{sen\alpha}{\alpha}\right)^2$$

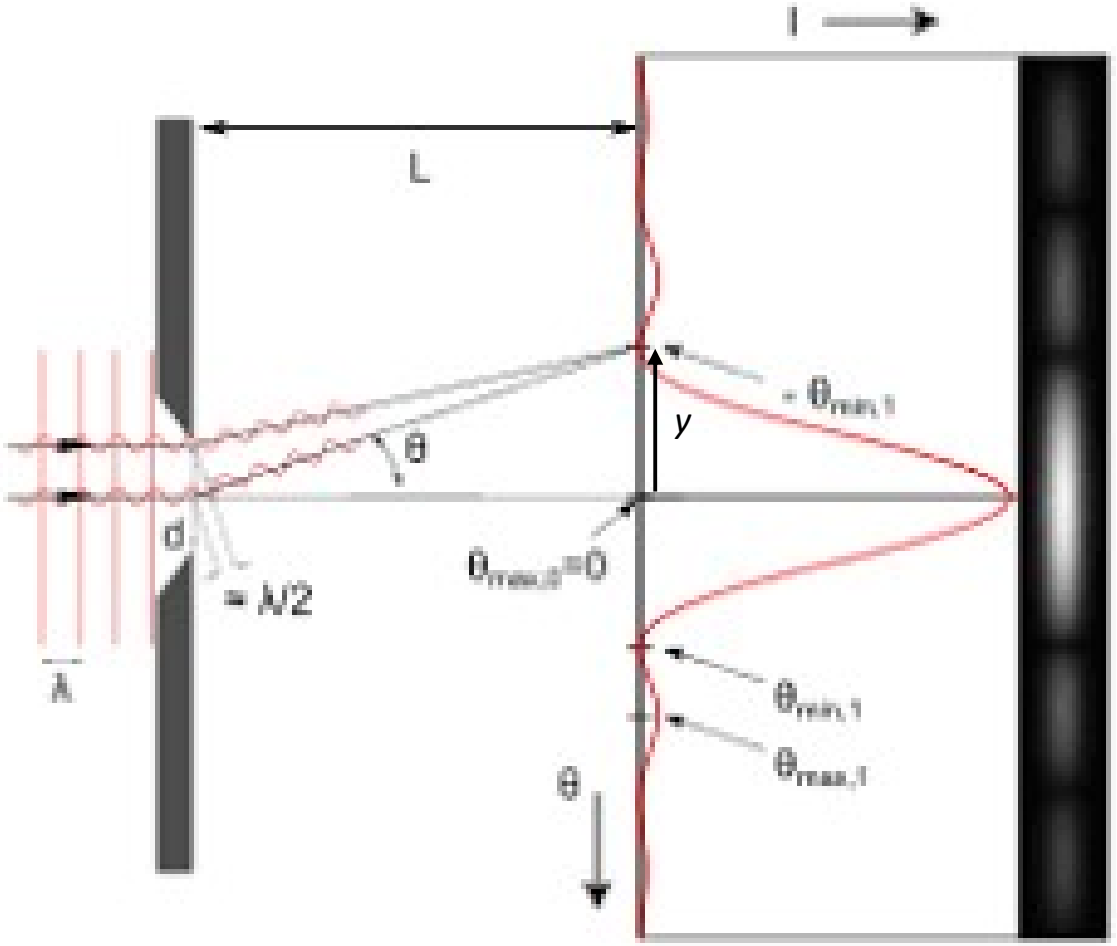
$$\alpha = \frac{\phi}{2}$$

$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right) sen\theta \quad \Rightarrow \quad \frac{\phi}{2} = \left(\frac{\pi a}{\lambda}\right) sen\theta$$

Difração numa fenda

$$I = I_m \left(\frac{sen\alpha}{\alpha} \right)^2$$

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \left(\frac{\pi a}{\lambda} \right) sen\theta$$



Considerando ângulo pequenos:

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \left(\frac{\pi a}{\lambda} \right) \frac{y}{L}$$

$$I = I_m \left(\frac{sen\left(\frac{\pi a y}{\lambda L} \right)}{\left(\frac{\pi a y}{\lambda L} \right)} \right)^2$$